

## ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 696.2;678.742.2-462

### РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОВОЙ ГОРЕЛКИ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СО СТЕКЛОТКАННЫМ ИЗЛУЧАТЕЛЕМ

канд. техн. наук, доц. **В.В. БУЛАХ**  
(Полоцкий государственный университет)

*Рассмотрены вопросы разработки и экспериментального исследования газовой горелки инфракрасного излучения с новым типом излучателя в виде стеклоткани. В настоящее время в мире используются главным образом газовые горелки инфракрасного излучения с керамическими огневыми насадками, которые, однако, являются достаточно дорогостоящими при изготовлении и обладают большой хрупкостью при эксплуатации. В процессе эксплуатации керамических излучателей имеют место следующие проблемы: растрескивание керамических плиток при механических ударах и попадании на них влаги; забивание огневых отверстий пылью и др. Результаты проведенных экспериментальных исследований позволили сделать вывод: газовая горелка предложенной конструкции со стеклотканным излучателем эффективно может быть использована в народном хозяйстве Республики Беларусь.*

**Введение.** В настоящее время в Республике Беларусь добывается лишь десятая часть газа, необходимая для стабильной работы газоиспользующих отраслей, остальная же, значительная его часть импортируется из других стран, главным образом из России. Вместе с тем в последние годы наметился значительный рост стоимости газа. Сказанное свидетельствует о необходимости максимально эффективно использовать данный вид топлива во всех отраслях народного хозяйства страны. Правительством республики приняты основные направления по решению данной задачи:

- снижение энергоемкости предприятий;
- разработка инновационного газоиспользующего оборудования, которая, с одной стороны, направлена на экономию энергоносителей, а с другой – на решение не менее важной задачи импортозамещения продукции.

Кроме того, с решением вопросов эффективности процесса сжигания газового топлива, одновременно решается важная задача – защита атмосферного воздуха.

Исходя из указанных соображений нами была проведена работа по созданию и исследованию энергосберегающей и экологически чистой газовой горелки инфракрасного излучения, теплотехнические характеристики которой соответствуют нормативному документу [1].

Газовые горелки инфракрасного излучения – инжекционные газовые горелки, в которых происходит беспламенное сжигание газа при большой теплонпряженности огневых насадок, причем основное количество тепла передается излучением.

Первые исследования по разработке горелок инфракрасного излучения с пористой диафрагмой провел в 1908 году Бон. Дальнейшие исследования по усовершенствованию этой горелки были проведены Вогеном и Коксом, которые установили предохранительную сетку во избежание проскока пламени.

Позже, в 1949 году, С.Н. Шориным и К.Н. Правоверовым были созданы горелки с перфорированной керамической насадкой. Одновременно в Германии ученым Шванком были разработаны и запущены в производство промышленные образцы газовых горелок инфракрасного излучения.

**Основная часть.** Большой объем работ по разработке, исследованию и внедрению в народное хозяйство СССР и Республики Беларусь различных конструкций газовых горелок выполнен в Полоцком государственном университете под руководством профессора А.М. Левина [2 – 7].

**Газовые горелки инфракрасного излучения (ГИИ)** отличаются от факельных горелок по следующим признакам:

- 1) основное количество тепла от нагретых огневых насадок передается излучением;
- 2) ГИИ работает с полным предварительным смешением ( $\alpha = 1,05 \dots 1,15$ );
- 3) газоздушная смесь сгорает в тонком слое над огневой насадкой горелки;
- 4) ГИИ работает со значительно меньшим выходом окиси углерода ( $CO$ ) и окислов азота ( $NO_x$ ) в продуктах сгорания;
- 5) при работе ГИИ требуется значительно меньше газа при улучшении качества продукции и сокращении продолжительности технологического процесса.

Горелки инфракрасного излучения по принципу действия аналогичны друг другу (работают с полным предварительным смешением). Отличаются друг от друга лишь типом и формой огневой насадки и конструкцией смесителя.

Горелки инфракрасного излучения бывают следующих типов: с керамической пористой диафрагмой; с керамическими перфорированными плитками; с металлотсетчатым излучателем.

*Горелки с керамической пористой диафрагмой* работают следующим образом. Газ подается через сопло в смеситель горелки. Воздух инжектируется газом в необходимом для полного сгорания количестве ( $\alpha = 1,05$ ). Далее газоздушная смесь проходит через пористую диафрагму и сгорает на ее наружной поверхности. Тепло от зоны горения посредством теплопроводности передается по капиллярам газоздушной смеси. Стенки капилляров, нагреваясь до высоких температур, подогревают газоздушную смесь. Подогрев смеси приводит к увеличению скорости распространения пламени. Это обстоятельство приводит к повышению устойчивости пламени по отношению к отрыву. Наличие же капиллярных отверстий меньше критических приводит к устойчивости пламени по отношению к проскоку. При номинальном режиме работы горелки наружная поверхность керамической диафрагмы нагревается до температуры 1273...1373 К. Огневая насадка, нагреваясь до такой температуры, становится мощным источником излучения. Для равномерности распределения газоздушной смеси устанавливается рассекатель. Основные недостатки, имеющие место при эксплуатации подобных горелок:

- большое гидравлическое сопротивление насадки;
- закупорка капилляров, которая происходит при воздействии высоких температур и размягчении керамики;
- закупорка капилляров из-за наличия пыли в исходной газоздушной смеси.

Другим типом газовых горелок инфракрасного излучения являются *горелки с перфорированными керамическими плитками*. Этот тип горелок получил наибольшее распространение, так как в нем исключены все перечисленные для предшествующего типа недостатки. Горелка с перфорированными керамическими плитками работает аналогично горелкам с пористой диафрагмой, однако температура излучающей насадки меньше и составляет 1073...1173 К. К недостаткам горелки относится большая хрупкость керамики.

Рассмотрим *горелки с металлотсетчатым излучателем*. Этот тип горелок отличается большой прочностью огневой насадки и лишен главного недостатка, присущего горелкам с керамическими насадками. Горение в горелках с металлотсетчатым излучателем происходит между двумя сетками, которые нагреваются до температуры порядка 1273 К. Расстояние между верхней и нижней излучающими сетками составляет 10 мм. Размеры ячеек для нижней сетки составляют  $0,4 \times 0,4$  мм, верхней сетки –  $2 \times 3$  мм. Размеры ячеек для нижней сетки являются достаточными для предотвращения проскока пламени в смеситель. Коэффициент гидравлического сопротивления горелки с металлотсетчатым излучателем больше, чем в горелках с керамическими плитками, но меньше, чем в горелках с керамической диафрагмой.

Все описанные выше конструкции горелок большую часть тепла (55...60 %) передают излучением в инфракрасную область спектра. Следует отметить, что в Великобритании в 1976 году была изготовлена установка для газового обогрева с иным типом огневой насадки. Установка содержит камеру, имеющую радиационную поверхность, снабженную газонепроницаемым тканым полотном, выполненным из неорганического жаропрочного материала. Это полотно армировано огнеупорными металлическими волокнами, переплетенными с основными волокнами. В качестве неорганического волокнистого материала может использоваться асбест, кремнезем, стекловолокно, шлаковата. В качестве армирующего материала – никель, хром, молибден, вольфрам или их сплав. Газоздушная смесь подается в установку под давлением в интервале от 1,5 фунта на квадратный дюйм до 4,15 фунта на квадратный дюйм (0,1...0,29 МПа). Следовательно, эта установка может работать только с принудительной подачей воздуха.

Нами разработана новая конструкция ГИИ со стеклотканной огневой насадкой. На рисунке 1 представлен общий вид этой горелки.

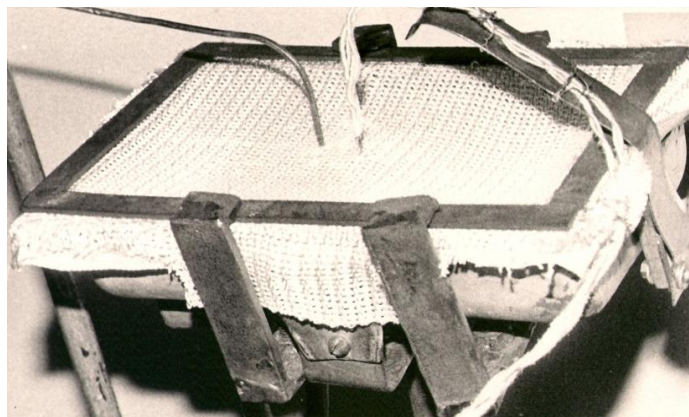


Рис. 1. Общий вид экспериментальной газовой горелки инфракрасного излучения со стеклотканной огневой насадкой

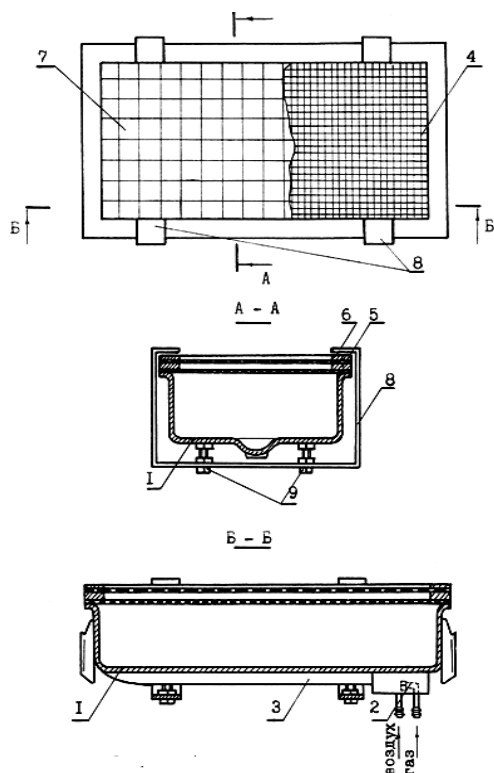


Рис. 2. Конструкция экспериментальной газовой горелки инфракрасного излучения со стеклотканной огневой насадкой:

- 1 – корпус; 2 – газовое сопло; 3 – смеситель;  
4 – предохранительная сетка; 5, 6 – рамки;  
7 – вторичный излучатель; 8 – скоба; 9 – болт

Во время испытаний были проведены следующие эксперименты:

1) при постоянной тепловой нагрузке и переменном составе газозвушной смеси (пропан-бутан) определялись следующие параметры:

- температура насадки горелки;
- содержание окиси углерода в продуктах сгорания;
- содержание суммы окислов азота в продуктах сгорания;
- температура насадки в зависимости от состава смеси;
- вид пламени;

2) при переменной тепловой нагрузке определялись:

- температура насадки горелки;
- содержание окиси углерода в продуктах сгорания;
- температура насадки в зависимости от удельной тепловой мощности горелки;
- содержание суммы окислов азота в продуктах сгорания.

Следует отметить, что приведенные выше эксперименты проводились с горелкой, имеющей как одну, так и две излучающие сетки.

Результаты экспериментов, полученные для горелок с одной и двумя излучающими сетками, представлены в таблицах 1 – 4.

На рисунке 3 представлены зависимости выхода окиси углерода и суммы окислов азота от состава смеси и наличия у горелки одной или двух излучающих сеток.

Из анализа приведенной зависимости следует, что при наличии одной излучающей сетки и тепловой нагрузке, соответствующей нагрузке серийно выпускаемой «Звездочки» (2301 Вт), ГИИ применять нельзя, так как при  $\alpha = 1,05$  значения  $CO$  не опускаются ниже 0,8 % об.,  $NO_x = 0,4 \cdot 10^{-4}$  % об. Это обусловлено тем, что огневая насадка нагревается при номинальной нагрузке лишь до 868 К. Из этой же зависимости следует, что только при наличии двух излучающих сеток и номинальной тепловой нагрузке окись углерода практически отсутствует, начиная с коэффициента избытка воздуха  $\alpha = 1$  (кривая 3, рис. 3). Температура насадки повышается в данном случае до 1063 К. Соответственно, повышается и значение  $NO_x$  (кривая 4), которое доходит до 8,23 % об.

На рисунке 2 изображена конструкция экспериментальной газовой горелки инфракрасного излучения. Она состоит из корпуса 1, газового сопла 2, смесителя 3, нижней предохранительной сетки 4, двух металлических рамок 5 и 6 и верхней сетки 7.

На основании проведенных исследований по критическому размеру нижняя предохранительная сетка выполнена из стеклоткани марки КТ-П-Т0 с размерами ячеек  $0,4 \times 0,4$  мм. Это подтверждает мнение других авторов о том, что критический размер отверстий не зависит от материала, из которого выполнен излучатель. Верхняя сетка изготовлена из стеклоткани марки КС-П-ЛА 240 с размерами ячеек  $3,0 \times 3,0$  мм. Рамка 5 служит для закрепления нижней сетки и фиксации верхней сетки на расстоянии 10 мм от нижней. Рамка 6 фиксирует верхнюю сетку. Обе рамки закрепляются при помощи двух скоб четырьмя натяжными болтами. Горение газозвушной смеси в данной горелке происходит между двумя излучающими сетками в тонком слое над поверхностью нижней предохранительной сетки. Основные преимущества разработанной в настоящей работе газовой горелки инфракрасного излучения:

- простота изготовления горелки;
- простота изготовления огневой насадки и её дешевизна;
- простота замены огневой насадки горелки;
- не требуется высоких давлений газа, воздушодувных устройств и армирующего материала, как это имеет место в английской установке для газового обогрева.

Для испытаний разработанной горелки был изготовлен экспериментальный стенд. Учитывая то обстоятельство, что корпус экспериментальной установки был взят от серийно выпускаемой «Звездочки», номинальная нагрузка разработанной горелки была выбрана такой же.

Для испытаний разработанной горелки был изготовлен экспериментальный стенд. Учитывая то обстоятельство, что корпус экспериментальной установки был взят от серийно выпускаемой «Звездочки», номинальная нагрузка разработанной горелки была выбрана такой же.

Таблица 1

Определение температуры излучающей сетки, содержания окиси углерода и суммы окислов азота при работе ГИИ с одной излучающей сеткой

| Коэффициент избытка воздуха, $\alpha$ | Температура излучающей сетки, $T_{н.с.}$ , К | Содержание $CO$ , % об. | Содержание $NO_x$ , % об. | Режим горения |
|---------------------------------------|--|-------------------------|---------------------------|---------------|
| 0,6                                   | 778  | 1,20                    | 2,45                      | Пламенный     |
| 0,7                                   | 823  | 1,15                    | 2,94                      | То же         |
| 0,8                                   | 833  | 1,10                    | 3,43                      | –"–           |
| 0,9                                   | 838  | 0,85                    | 3,18                      | Беспламенный  |
| 1,0                                   | 858  | 0,80                    | 3,67                      | То же         |
| 1,05                                  | 868  | 0,80                    | 3,92                      | –"–           |
| 1,1                                   | 863  | 0,80                    | 4,16                      | –"–           |
| 1,2                                   | 848  | 1,00                    | 2,45                      | –"–           |
| 1,3                                   | 843  | 1,05                    | 1,96                      | –"–           |
| 1,4                                   | 763  | 1,05                    | 1,71                      | –"–           |
| 1,5                                   | 753  | 1,10                    | 1,96                      | –"–           |
| 1,6                                   | 733  | 1,10                    | 1,47                      | –"–           |

Примечание. Температура газа  $T_g = 290$  К; температура воздуха  $T_v = 290$  К; давление барометрическое  $p_0 = 101590$  Па; давление газа  $p_g = 2050$  Па; давление номинальное  $P_{ном} = 2301$  Вт.

Таблица 2

Определение температуры излучающей сетки, содержания окиси углерода, суммы окислов азота при работе ГИИ с одной излучающей сеткой при переменной тепловой мощности

| Расход газа, $V_g$ , м <sup>3</sup> /ч | Тепловая мощность, $P$ , Вт | Удельная мощность, $q$ , Вт/см <sup>2</sup> | Давление газа, $p_g$ , Па | Содержание $CO$ , % об. | Содержание $NO_x \cdot 10^{-4}$ , % об. | $T_{н.с.}$ , К | Режим горения |
|--|-----------------------------|---|---------------------------|-------------------------|---|----------------|---------------|
| 0,0498                                 | 1273                        | 4,26  | 520                       | –                       | –                                       | –              | Нет горения   |
| 0,06                                   | 1534                        | 5,13  | 900                       | –                       | 2,07                                    | –              | Нестабильный  |
| 0,072                                  | 1841                        | 6,16  | 1570                      | –                       | 2,47                                    | 733            | Беспламенный  |
| 0,078                                  | 1994                        | 6,67  | 1900                      | –                       | 3,45                                    | 783            | То же         |
| 0,09                                   | 2301                        | 7,70  | 2610                      | –                       | 4,45                                    | 833            | –"–           |
| 0,102                                  | 2609                        | 8,73  | 3200                      | –                       | 4,72                                    | 873            | –"–           |
| 0,108                                  | 2762                        | 9,24  | 3650                      | –                       | 5,78                                    | 913            | –"–           |
| 0,12                                   | 3068                        | 10,27                                       | 4200                      | 0,5                     | 6,16                                    | 993            | –"–           |
| 0,126                                  | 3222                        | 10,78                                       | 4500                      | 0,01                    | 8,02                                    | 1033           | –"–           |
| 0,132                                  | 3375                        | 11,30                                       | 5340                      | 0,02                    | 9,00                                    | 1043           | –"–           |
| 0,138                                  | 3529                        | 11,81                                       | 6000                      | 0,008                   | 10,78                                   | 1073           | –"–           |
| 0,144                                  | 3682                        | 12,32                                       | 6400                      | 0,025                   | 10,78                                   | 1083           | –"–           |

Примечание. Коэффициент избытка воздуха  $\alpha = 1,05$ ; низшая теплота сгорания газа  $Q_n^p = 92125$  кДж/м<sup>3</sup>; площадь огневой насадки  $F_{огн.нас.} = 298,8$  см<sup>2</sup>.

Таблица 3

Определение температуры излучающих сеток, содержания окиси углерода и суммы окислов азота при работе ГИИ с двумя излучающими сетками

| Коэффициент избытка воздуха, $\alpha$ | Температура излучающих сеток, К |                         | Содержание $CO$ , % об. | Содержание $NO_x \cdot 10^{-4}$ , % об. |
|---------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|---|
|                                       | нижней, $T_{н.с.}$ , К          | верхней, $T_{в.с.}$ , К |                         |   |
| 0,6                                   | 913                             | 733                     | 1,19                    | 1,37                                    |
| 0,7                                   | 983                             | 743                     | 1,12                    | 3,77                                    |
| 0,8                                   | 1033                            | 753                     | 0,98                    | 4,12                                    |
| 0,9                                   | 1043                            | 778                     | 0,28                    | 6,86                                    |
| 1,0                                   | 1053                            | 783                     | 0,007                   | 7,55                                    |
| 1,05                                  | 1063                            | 788                     | 0,005                   | 8,23                                    |
| 1,1                                   | 1053                            | 793                     | следы                   | 8,05                                    |
| 1,2                                   | 1053                            | 838                     | то же                   | 8,00                                    |
| 1,3                                   | 1053                            | 873                     | –"–                     | 6,42                                    |
| 1,4                                   | 1043                            | 873                     | –"–                     | 5,43                                    |
| 1,5                                   | 1023                            | 878                     | –"–                     | 5,00                                    |
| 1,6                                   | 1003                            | 893                     | –"–                     | 3,88                                    |

Примечание. Температура газа  $T_g = 298$  К; температура воздуха  $T_v = 290$  К; давление барометрическое  $p_0 = 101590$  Па; давление газа  $p_g = 2050$  Па; давление номинальное  $P_{ном} = 2301$  Вт.

Таблица 4

Определение температуры излучающих сеток, содержания окиси углерода и суммы окислов азота при работе ГИИ с двумя излучающими сетками при переменной тепловой нагрузке

| Расход газа,<br>$V_g, \text{ м}^3/\text{ч}$ | Мощность<br>горелки, Вт | Удельная<br>мощность, Вт/см <sup>2</sup> | Содержание<br>СО, % об. | Содержание<br>$\text{NO}_x \cdot 10^{-4}, \%$ об. | Температура сетки, К          |                                |
|---|-------------------------|--|-------------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|
|   |                         |  |                         |   | нижней, $T_{н.с.}, \text{ К}$ | верхней, $T_{в.с.}, \text{ К}$ |
| 0,0498                                      | 1273                    | 4,26                                     | 0,005                   | 2,06  | 868                           | 653                            |
| 0,06  | 1534                    | 5,13                                     | Следы                   | 4,12  | 938                           | 673                            |
| 0,072                                       | 1841                    | 6,17                                     | То же                   | 6,17  | 1008                          | 713                            |
| 0,078                                       | 1994                    | 6,67                                     | —"                      | 8,92  | 1023                          | 738                            |
| 0,09  | 2301                    | 7,70                                     | —"                      | 10,29   | 1063                          | 793                            |
| 0,102                                       | 2609                    | 8,73                                     | —"                      | 10,98   | 1098                          | 853                            |
| 0,108                                       | 2762                    | 9,24                                     | —"                      | 11,66   | 1108                          | 893                            |
| 0,12  | 3068                    | 10,27                                    | —"                      | 14,09   | 1133                          | 933                            |

Примечание. Коэффициент избытка воздуха  $\alpha = 1,05$ ; низшая теплота сгорания газа  $Q_n^p = 92125 \text{ кДж/м}^3$ ; площадь огневой насадки  $F_{огн.нас.} = 298,8 \text{ см}^2$ .

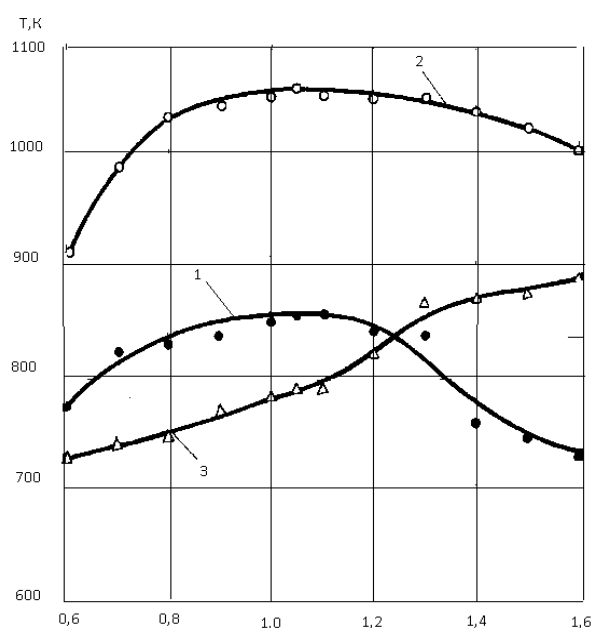


Рис. 3. Зависимость температуры излучающих сеток от состава газозвушной смеси при номинальной тепловой нагрузке:

- 1 – температура излучающей сетки односетчатой газовой горелки;  
2 – температура нижней излучающей сетки (газовая горелка с двумя излучающими сетками);  
3 – температура верхней излучающей сетки (газовая горелка с двумя излучающими сетками)

Анализируя кривые зависимостей температуры насадки от состава смеси при номинальной тепловой нагрузке (см. рис. 3) и наличии одной или двух излучающих сеток, можно сделать следующие выводы:

1) при работе ГИИ с одной излучающей сеткой происходит постоянный рост температуры насадки вплоть до стехиометрической смеси. Далее, за счет охлаждения зоны реакции избытком окислителя, происходит падение температуры насадки (кривая 1);

2) при работе ГИИ с двумя излучающими сетками:

- температура нижней излучающей сетки постоянно возрастает вплоть до стехиометрической смеси (кривая 2). Затем происходит некоторая стабилизация температуры, далее температура насадки начинает падать, хотя не так интенсивно, как в первом случае. Более плавное уменьшение температуры происходит, на наш взгляд, за счет наличия второй излучающей сетки. Падение же температуры связано с тем, что фронт пламени при увеличении объема истечения газозвушной смеси несколько приподнимается над нижней излучающей сеткой;

- температура верхней сетки постоянно повышается (кривая 3), причем в области бедных смесей ( $\alpha = 1,1 \dots 1,3$ ) происходит более интенсивный ее разогрев. Это обстоятельство находится в соответствии с вышеприведенным выводом, который говорит о том, что фронт пламени в зоне бедных смесей приподнимается над нижней излучающей сеткой и приближается к верхней сетке, нагревая ее до более высокой температуры.

Из анализа рисунка 4 следует, что в случае переменной тепловой нагрузки (при  $\alpha = 1,05$ ) и наличия двух излучающих сеток содержание  $CO$  в продуктах сгорания практически равно нулю во всем диапазоне изменений тепловой нагрузки (кривая 1).

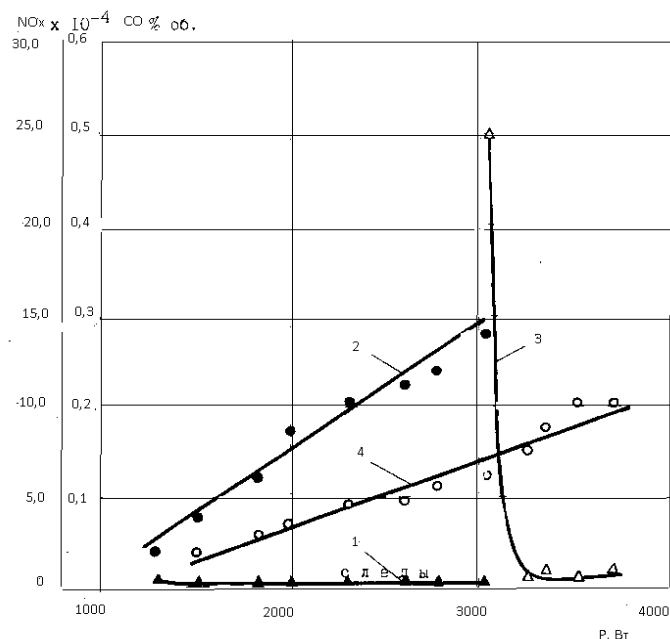


Рис. 4. Зависимость содержания окиси углерода и суммы окислов азота при переменной тепловой нагрузке и постоянном составе смеси ( $\alpha = 1,05$ ):

- 1 – содержание окиси углерода (с двумя излучающими сетками);
- 2 – содержание окислов азота (с двумя излучающими сетками);
- 3 – содержание окиси углерода (с одной излучающей сеткой);
- 4 – содержание окислов азота (с одной излучающей сеткой)

Содержание  $NO_x$  в продуктах сгорания постоянно растет, доходя до  $14,09 \cdot 10^{-4}$  % об. при тепловой нагрузке 3065 Вт. Кроме того, из рисунка 4 видно, что при наличии одной излучающей сетки и тех же условиях содержание  $CO$  в продуктах сгорания падает довольно резко при тепловой нагрузке 3222 Вт (температура излучающей сетки при этой нагрузке равна 1033 К, кривая 3), оставаясь постоянной при дальнейшем повышении тепловой нагрузки. Соответственно, содержание  $NO_x$  в продуктах сгорания повышается до  $10,78 \cdot 10^{-4}$  % об. при тепловой нагрузке, равной 3682 Вт.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что ГИИ с одной излучающей сеткой могут быть применены при тепловых нагрузках более 3000 Вт.

Анализ приведенных на рисунке 4 кривых позволяет сделать вывод о том, что с увеличением тепловой нагрузки растут и температура излучающих сеток. Кроме того, из рисунка 4 видно, что при наличии одной излучающей сетки (кривая 1) или верхней в двухсетчатой горелке (кривая 2) происходит постоянный рост температуры излучающих сеток. У нижней же сетки в горелке с двумя излучающими сетками вначале происходит более интенсивный разогрев излучающей сетки, а затем наблюдается более пологая зависимость ее температуры от удельной тепловой мощности горелки.

На рисунке 5 представлены теоретически рассчитанные кривые и отмечены результаты экспериментальных исследований.

Следует заметить, что кривые 1 и 2 хорошо описываются экспоненциальной зависимостью вида:

$$T - T_0 = T_{\max} - T_0 [1 - \exp -aq]. \quad (1)$$

Преобразуем это выражение:

$$\frac{T - T_0}{T_{\max} - T_0} - 1 = -e^{-aq}. \quad (2)$$

Умножив обе его части на  $-1$ , получим:

$$1 - \frac{T - T_0}{T_{\max} - T_0} = e^{-aq}.$$

Приведем к общему знаменателю:

$$\frac{T_{\max} - T_0 + T_0 - T}{T_{\max} - T_0} = e^{-aq}.$$

После сокращения и преобразования получим:

$$\ln \frac{T_{\max} - T}{T_{\max} - T_0} = e^{-aq}, \quad (3)$$

или

$$aq = -\ln \frac{T_{\max} - T}{T_{\max} - T_0}. \quad (4)$$

И наконец, выразим значение  $a$ :

$$a = \frac{\ln \frac{T_{\max} - T_0}{T_{\max} - T}}{q}. \quad (5)$$

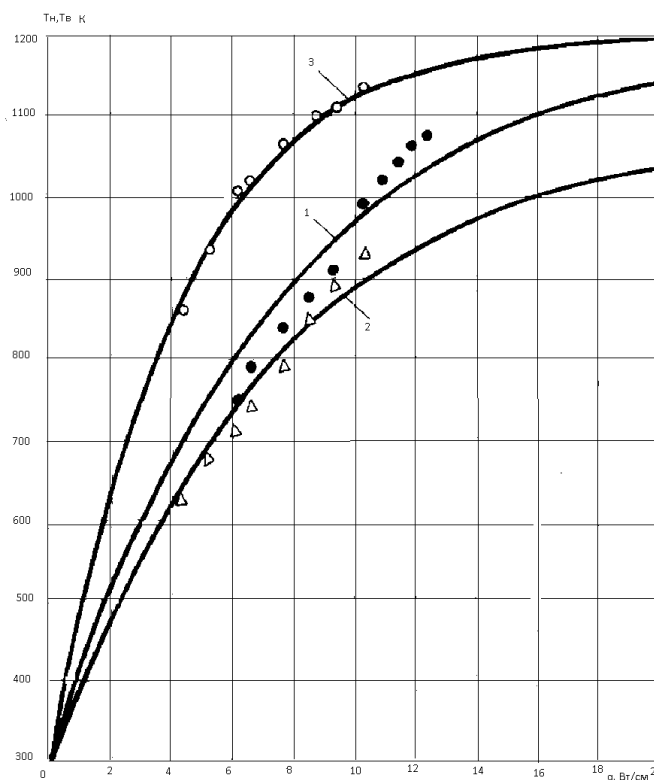


Рис. 5. Зависимость температуры излучающих сеток от удельной тепловой нагрузки при постоянном составе смеси ( $\alpha = 1,05$ )

- 1 – температура излучающей сетки односетчатой горелки;
- 2 – температура верхней излучающей сетки (горелка с двумя сетками);
- 3 – температура нижней излучающей сетки (горелка с двумя сетками)

На основании экспериментальных и расчетных данных можно утверждать, что кривые зависимости температуры излучающих сеток можно описать приведенной выше экспоненциальной зависимостью (1). Кроме того, значение коэффициента  $a$  в показателе степени для горелки с одной излучающей сеткой и для верхней сетки в горелке с двумя излучающими сетками получается аналогичным рассчитанному для горелок с металосетчатыми и керамическими насадками, а именно:  $a = 0,133$ . Значение  $a$  для нижней сетки в горелке с двумя излучающими насадками несколько выше и составляет 0,244. Это говорит о том, что на величину  $a$  большое влияние оказывает вторая излучающая сетка, которая является, с одной стороны, вторичным излучателем, а с другой – источником обратного излучения на нижнюю сетку. Ввиду

того, что тепловыделение от пламени будет при этом постоянным, то с увеличением обратного излучения на нижнюю сетку повысится ее нагрев.

Величины максимальных температур и средних значений  $a$ , полученные в результате эксперимента, представлены в таблице 5.

Таблица 5

Определение средних значений коэффициента  $a$   
при работе ГИИ с одной и с двумя излучающими сетками

| $T_{\max}, K$ | $a_{cp}, \text{см}^2/\text{Вт}$ | Излучающая сетка | Тип ГИИ         |
|---------------|---------------------------------|------------------|-----------------|
| 1203          | 0,244                           | Нижняя           | С двумя сетками |
| 1093          | 0,133                           | Верхняя          | С двумя сетками |
| 1213          | 0,134                           | Верхняя          | С одной сеткой  |

На основании теплотехнических испытаний разработанной в настоящей работе газовой горелки инфракрасного излучения со стеклотканной огневой насадкой можно сделать следующие **выводы**:

1) газовая горелка инфракрасного излучения со стеклотканной огневой насадкой может быть успешно применена во многих отраслях народного хозяйства, например, при сушке строительных материалов, стен после окраски, для обогрева производственных помещений, а также при выпечке мелкоштучных хлебобулочных изделий: хлебной крошки, сухарей, печенья и т.д.;

2) конструкция газовой горелки инфракрасного излучения с двумя излучающими сетками из стеклоткани обеспечивает эффективную работу горелки в широком диапазоне тепловых нагрузок (при  $\alpha = 1,05$ ), обеспечивая при этом полное сгорание газозооной смеси;

3) газовые горелки инфракрасного излучения с одной излучающей сеткой, выполненные из стеклоткани, могут быть применены лишь при повышенной тепловой нагрузке, составляющей более 3200 Вт.

Установлено, что для огневых насадок из стеклоткани (верхняя сетка в двухсетчатой горелке) и предохранительных сеток (односетчатая горелка) кривые нагрева можно описать экспоненциальными зависимостями. Полученные результаты согласуются с зависимостями, полученными для газовых горелок инфракрасного излучения с керамическими и металлотсетчатыми насадками.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горелки газовые инфракрасного излучения. Общие технические требования и приемка: ГОСТ 25696-83.
2. Левин, А.М. Принципы рационального сжигания газа / А.М. Левин. – Л.: Недра, 1977. – 247 с.
3. Излучающая газовая горелка для рабочей камеры нагревательной печи: а. с. (СССР) № 1515853 / А.М. Левин, В.В. Дунин, В.В. Булах, И.Н. Кесельман. – М.: Госкомитет СССР по делам изобретений и открытий, 1987.
4. Инжекционная горелка: а. с. (СССР) № 1613803 / А.М. Левин, В.В. Булах. – М.: Госкомитет СССР по делам изобретений и открытий, 1988.
5. Излучающая горелка для печи с широким подом: пат. СССР № 1799506 / А.М. Левин, В.В. Булах, В.Е. Андреев, Т.В. Булах. – М.: Госкомитет СССР по делам изобретений и открытий, 1990.
6. Излучающая горелка для печи с широким подом: пат. Респ. Беларусь № 400 / А.М. Левин, В.В. Булах, В.Е. Андреев, Т.В. Булах. – 1994.
7. Boulakh, V.V. Infrared Radiation Type Gas Burner with Glass Fibre Radiator / V.V. Boulakh // Third International School-Seminar. – Minsk, 1999. – P. 61 – 66.

Поступила 15.11.2011

#### RESEARCH AND DEVELOPMENT OF THE GAS BURNER OF INFRA-RED RADIATION WITH GLASSWOVEN RADIATOR

V. BULAKH

*In paper questions of development and an experimental research of a gas burner of infrared radiation with new type of radiator – in the form of fiber glass fabric are considered. Now in the world are used mainly gas burners of infrared radiator with ceramic fire nozzles which one are expensive enough at manufacturing are used and possess the big friability at exploitation. The basic problems on-stream ceramic radiators are: cracking of ceramic tiles at mechanical shocks and hit on them of a moisture; driving down of fire openings by a dust, etc. Experimental researches with the tendered construction of a gas burner allow to draw a conclusion that it can be effectively used in a national economy of Republic of Belarus.*